

УДК 669.295:621.762

М. А. Герман^{*}, И. А. Грушин, С. С. Слезов

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва

**ferrarigerman@gmail.com*

Научный руководитель — проф., д-р техн. наук С. В. Скворцова

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И ТЕКСТУРЫ В ЗАГОТОВКАХ ИЗ ДВУХФАЗНЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ПОМОЩИ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В рамках проведенного исследования было изучено влияние термической обработки на структуру, механические свойства и текстуру заготовок из титанового сплава ВТ6, полученных при помощи аддитивной технологии прямого лазерного нанесения материала.

Ключевые слова: титановый сплав, аддитивные технологии, порошковая металлургия, селективное лазерное сплавление, 3D-технологии, 3D-принтер, термическая обработка

M. A. German, I. A. Grushin, S. S. Slezov

STRUCTURE AND TEXTURE FORMATION BEHAVIOUR IN TWO-PHASE TITANIUM ALLOYS BILLETS OBTAINED BY ADDITIVE MANUFACTURING

The effect of heat treatment on the structure, mechanical properties and texture of titanium alloy Ti–6Al–4V billets, obtained by additive manufacturing technology was investigated in this work.

Key words: titanium alloy, additive manufacturing, powder metallurgy, selective laser melting, 3D-technology, 3D-printer, thermohydrogen processing

На первом этапе работы была изучена микроструктура и измерена твердость образцов, вырезанных из заготовки, полученной при помощи технологии прямого лазерного нанесения металла (ПЛНМ) из сплава ВТ6.

Образцы, вырезанные из заготовки, полученной по технологии ПЛНМ из гранул размером $-80 + 60$ мкм, имеют неравновесную ($\alpha + \beta$)-структуру, что, по-видимому, обусловлено малой скоростью отвода тепла в процессе 3D-печати (рис. 1, а). Структура представлена пластинчатой α -фазой и небольшим количеством β -фазы.

Измерение твердости в исходном состоянии после 3D-печати показало существенное отличие ее значений в зависимости от направления — 37 ед. HRC в направлении роста (НР) и 32 ед. HRC в направлении продольного роста (НПР). Это позволило предположить наличие кристаллографической текстуры и, следовательно, анизотропии свойств.

На следующем этапе работы были исследованы влияние отжига на формирование структуры, фазового состава и механические свойства заготовки из сплава ВТ6, полученной при помощи ПЛНМ. Для термической обработки выбран режим отжига, наиболее часто используемый для сплава ВТ6: 820 °С, выдержка — 1 ч, охлаждение на воздухе.

Отжиг при 820 °С не приводит к принципиальным изменениям в структуре: сохраняется структура «корзиночного плетения» при незначительном росте размеров пластин α -фазы (рис. 1, б). Твердость после термической обработки во всех направлениях составляет 37 ед. HRC.

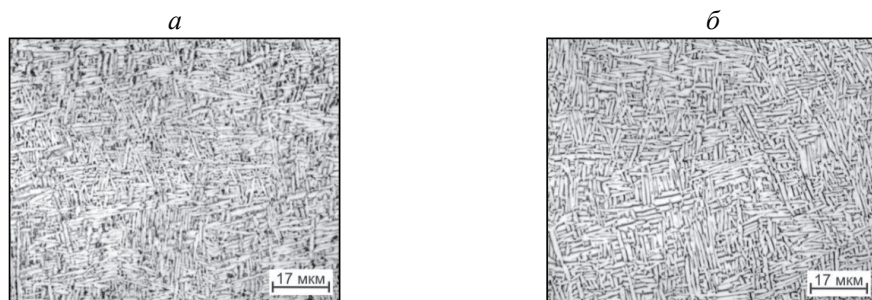


Рис. 1. Микроструктура образцов:

а — вырезанных из заготовки, выращенной из гранул дисперсностью $-80 + 60$ мкм в исходном состоянии; б — после вакуумного отжига 820 °С

На следующем этапе работы были проведены механические испытания образцов из сплава ВТ6 в исходном состоянии и после вакуумного отжига при 820 °С.

Результаты испытаний в исходном состоянии показали высокую анизотропию свойств в двух направлениях, которая сохраняется и после проведения термической обработки (табл.). Вакуумный отжиг при 820 °С

приводит к некоторому снижению значений прочности и увеличению пластичности. Это обусловлено снятием внутренних напряжений.

Таблица

Механические свойства образцов, полученных методом ПЛНМ

Направление вырезки образцов	Состояние	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %
Направление роста (НР)	Исходное после ПЛНМ-печати	1030	980	18	46
Направление продольного роста (НПР)		1100	1035	11	29
Направление роста (НР)	Отожженное в вакууме 820 °С, выдержка в течение 2 ч	990	930	19	52
Направление продольного роста (НПР)		1060	1018	14	34

Разница свойств в зависимости от направления, по-видимому, связана с формированием кристаллографической текстуры в заготовках.

На следующем этапе работы были построены ОПФ для образцов в исходном состоянии. Анализ ОПФ показал, что в направлении продольного роста наблюдается повышенная полюсная плотность базисных плоскостей, а в НР — плоскостей $\{10\bar{1}2\}\alpha$ и $\{11\bar{2}0\}\alpha$ (рис. 2).

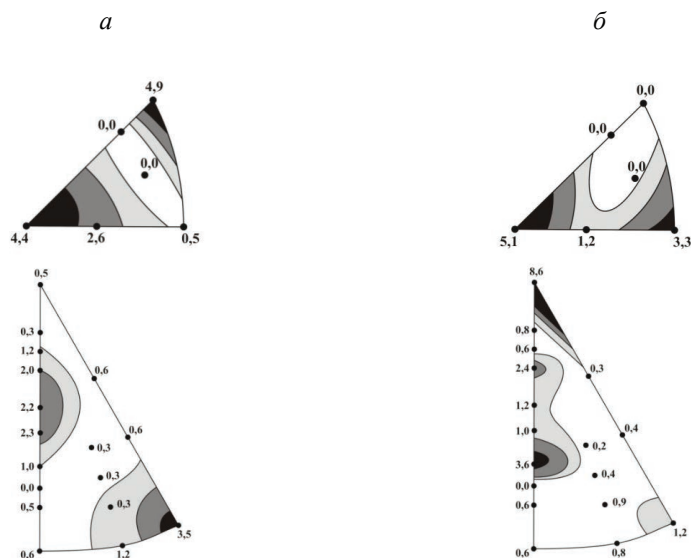


Рис. 2. Текстура заготовки из сплава ВТ6 после 3D-печати:
а — направление роста; б — направление продольного роста

Таким образом, в заготовках формируется текстура ($\beta \rightarrow \alpha$)-превращения в соответствии с ориентационными соотношениями Бюргерса. Этим объясняется наличие анизотропии механических свойств в двух направлениях. Отжиг не приводит к изменению характера текстуры β - и α -фаз.

Работа выполнена с применением оборудования ресурсного центра коллективного пользования «Авиационно-космические материалы и технологии» МАИ.